

AX

10/587,929



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 35 665 A1 2004.02.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 35 665.3

(51) Int Cl. 7: F02D 41/00

(22) Anmeldetag: 31.07.2002

(43) Offenlegungstag: 12.02.2004

(71) Anmelder:

Conti Temic microelectronic GmbH, 90411
Nürnberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu
ziehende Druckschriften:

DE 195 31 845 A1
DE 44 13 473 A1
DE 693 29 116 T2
US 52 39 473 A
US 52 00 899 A

(72) Erfinder:

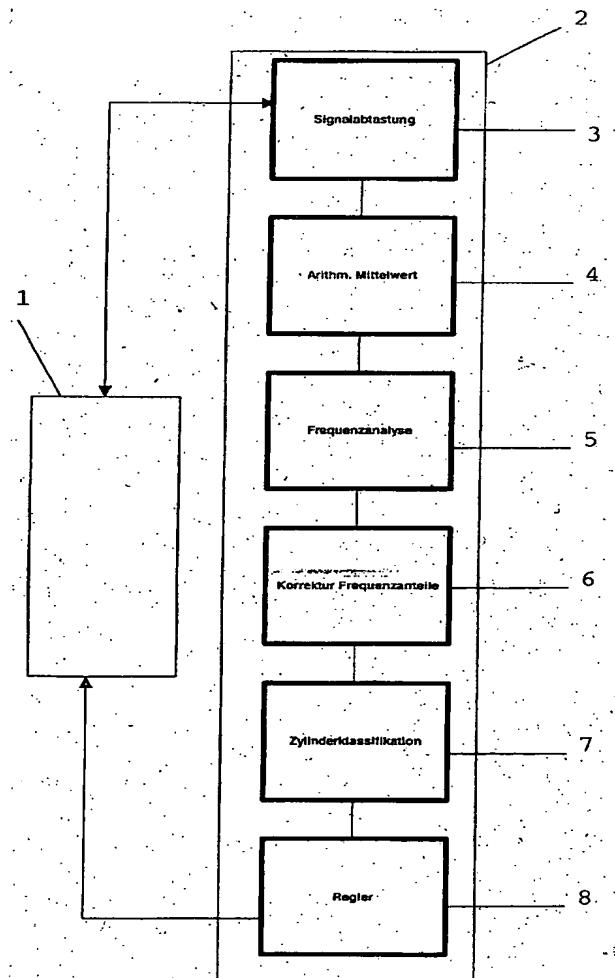
Hagel, Reinhold, Dr., 91361 Pinzberg, DE; Krell,
Stephan, Dr., 91126 Schwabach, DE;
Schimmelpfennig, Peter, 91054 Erlangen, DE;
Tuna, Mehmet, 90765 Fürth, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheintrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Regelungsverfahren zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine, bei dem eine Regelungseinrichtung eine Einrichtung zur Signalabtastung, eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Frequenzanalyse sowie eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Zylinderklassifikation aufweist, bei dem zunächst ein Drehzahlsignal ermittelt wird und anschließend das Drehzahlsignal in einen Winkel-Frequenzbereich transformiert wird, wobei die Transformation mittels einer Hartley-Transformation erfolgt. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mittels eines solchen Verfahrens sowie eine Brennkraftmaschine.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Regelungsverfahren zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine sowie eine Vorrichtung zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mittels des genannten Verfahrens.

[0002] Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Detektion und Regelung der Laufunruhe bei einer Brennkraftmaschine. Ein solches Verfahren ausführende Regeleinrichtung, die bei modernen Kraftfahrzeugen typischerweise vorhanden ist, ist beispielsweise auch als Motorgleichlaufregelung (engl. Engine Smoothness Control (ESC)) bekannt. Solche Motorgleichlaufregelsysteme sind vielfach bekannt, so dass den Aufbau und die Funktionsweise der unterschiedlichen, bekannten Motorgleichlaufregelsysteme nachfolgend nicht näher eingegangen wird.

Stand der Technik

[0003] Aufgrund des unvermeidlichen Vorliegens von Fertigungstoleranzen des Einspritzsystems sowie durch das Auftreten von Alterungseffekten werden den Zylindern unterschiedliche Kraftstoffmengen zugemessen. Selbst geringfügige Unterschiede in den Zylindern zugeführten Kraftstoffmengen führen zu Drehmomentänderungen, die Ursache von unerwünschten Vibrations beispielsweise von Spiegeln, Lenkern und dergleichen sein können. Einen besonders unerwünschten Einfluss haben solche Vibrations bei der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs, da es hier häufig zu Motorschütteln kommen kann, die bei der Dimensionierung der Motorkonstruktion mit berücksichtigt werden müssen, da sie unter Umständen die Lebensdauer des Motors negativ beeinflussen. Zudem wird durch die genannte Streuung der Einspritzmenge ein ungünstiger Einfluss auf Geräusch, Lebensdauer und Emissionen der Brennkraftmaschine ausgeübt. Diese unerwünschten Einflüsse gilt es verständlicherweise zu vermeiden.

[0004] Die genannten Drehmomentänderungen spiegeln sich beispielsweise in der momentanen Kurbelwellendrehzahl bzw. in der momentanen Kurbelwellenbeschleunigung wieder. Diese können gemessen werden und im Motorsteuergerät ausgewertet werden.

Aufgabenstellung

[0005] Ausgehend davon liegt der vorliegenden Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, die Drehmomentänderungen bzw. Drehmomentvariationen bei gleichmäßiger zu vermeiden bzw. zumindest weitestgehend zu verringern.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, eine Regelungseinrichtung mit den Merkmalen des

Anspruchs 19 sowie eine Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 23 gelöst.

[0007] Demgemäß ist vorgesehen:

– Ein Regelungsverfahren zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine bei dem eine Regelungseinrichtung eine Einrichtung zur Signalabtastung, eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Frequenzanalyse sowie eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Zylinderklassifikation aufweist, bei dem zunächst ein Drehzahlsignal ermittelt wird und anschließend das Drehzahlsignal in einen Winkel-Frequenzbereich transformiert wird, wobei die Transformation mittels einer Hartley-Transformation erfolgt (Patentanspruch 1).

– Eine Vorrichtung zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mit einer Einrichtung zur Signalabtastung, mit einer der Einrichtung zur Signalabtastung nachgeschaltet angeordneten Einrichtung zur Frequenzanalyse und mit einer der Einrichtung zur Frequenzanalyse nachgeschaltet angeordneten Einrichtung zur Zylinderklassifikation (Patentanspruch 14).

– Eine Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug mit mindestens einem Zylinder und mit mindestens einer Motorsteuerung, wobei zumindest eine Motorsteuerung eine Vorrichtung zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeuges (Patentanspruch 23).

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren ist in der Lage, die Laufunruhe ausgehend von einem ermittelten Drehzahlsignal zu detektieren sowie diese durch geeignete Verstellung der Einspritzmengen zu verringern. Diese Verstellung erfolgt erfindungsgemäß durch ein Regelungssystem, welches erkennt, welcher oder welche Zylinder verstellt werden muss. Vorteilhafterweise stellt das Regelungssystem auch eine Information bereit, die neben der qualitativen Information auch eine quantitative Auskunft über das Ausmaß der Verstellung gibt, das heißt welcher Zylinder muss wie stark verstellt werden.

[0009] Hierzu wird das Drehzahlsignal in einen Winkel-Frequenzbereich transformiert. Die so gewonnenen Spektralanteile werden auch als Ordnungen bezeichnet. Die Transformation erfolgt dabei vorteilhafterweise unter Zuhilfenahme der Hartley-Transformation. Da die Verstellung einzelner Zylinder insbesondere einen Einfluss auf die niederfrequenten Spektralanteile besitzt, bilden vornehmlich diese niederfrequenten Spektralanteile die Laufunruhe ab. Um die Laufunruhe auf Null zu regeln, bietet es sich daher an, vornehmlich die niederfrequenten Spektralanteile auf Null auszuregeln. Zu diesem Zwecke ist der Brennkraftmaschine ein Regler zugeordnet, welcher die störenden Spektralanteile im gesamten Betriebsbereich drastisch reduziert und somit das Schwingungsverhalten des gesamten Antriebstranges deutlich verbessert.

[0010] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Detektion von Zündaussetzern bei einer Brennkraftmaschine. Eine solche Vorrichtung ist im Allgemeinen auch als Misfire Detection bekannt.

[0011] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Detektion und Regelung des abgegebenen mittleren Momentes bzw. der mittleren Leistung bei einer Brennkraftmaschine.

[0012] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens sind den weiteren Unteransprüchen unter Bezugnahme auf die Zeichnung und die Beschreibung entnehmbar.

Ausführungsbeispiel

[0013] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt dabei:

[0014] **Fig. 1** das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung für eine Brennkraftmaschine, anhand derer das erfindungsgemäße Verfahren dargestellt wird;

[0015] **Fig. 2** ein detailliertes Blockschaltbild, welches den Block der Zylinderklassifikation veranschaulicht.

[0016] Gleiche beziehungsweise funktionsgleiche Elemente sind in allen Figuren – sofern nichts anderes angegeben ist – mit gleichen Bezugszeichen versehen worden.

[0017] **Fig. 1** zeigt das Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung für eine Brennkraftmaschine, anhand derer das erfindungsgemäße Verfahren dargestellt wird.

[0018] In **Fig. 1** ist mit Bezugszeichen 1 eine selbstzündende Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug und mit Bezugszeichen 2 die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung zur Regelung der Zylinderverstellung der Brennkraftmaschine dargestellt.

[0019] Die Regelungseinrichtung 2 weist eine Einrichtung zur Signalabtastung 3 auf, die eine Drehung der Kurbelwelle erfasst und ein davon abgeleitetes Signal erzeugt. Dieses typischerweise digitale Signal wird einer nachgeschaltet angeordneten Einrichtung 4 zugeführt, die ausgehend von dem von der Einrichtung zur Signalabtastung 3 zugeführten Signal einen arithmetischen Mittelwert bildet. Diese Information wird nachfolgend einer Einrichtung zur Frequenzanalyse 5 zugeführt, die eine Spektralanalyse vornimmt. Diese Spektralanalyse wird anschließend in einer Korrekturseinrichtung 6, die eine Korrektur der Frequenzanteile vornimmt, weiter verarbeitet. Mit dem so gewonnenen Daten bzw. Informationen wird in einer nachfolgend noch detaillierter beschriebenen Einrichtung 7 eine Zylinderklassifikation vorgenommen. Am Ausgang der Einrichtung 7 ist ein Klassifikationsignal abgreifbar, welches einem nachgeschalteten Regler 8 zuführbar ist. Der Regler 8 erzeugt daraus ein Regelsignal, welches in die Brennkraftmaschine einkoppelbar ist, so dass die Zylinder entsprechend den Anforderungen optimal an die gegebenen Ver-

hältnisse angepasst werden können.

[0020] In **Fig. 1** wurden zwar Einrichtungen 4, 6 dargestellt. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass auf eines oder beide dieser Elemente auch verzichtet werden kann, ohne dass die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung nennenswert beeinträchtigt wird.

[0021] Die vorliegende Erfindung sei ferner nicht auf selbstzündende Brennkraftmaschinen beschränkt, sondern kann prinzipiell auch bei wie auch immer ausgebildeten Brennkraftmaschinen 1 vorteilhaft eingesetzt werden.

[0022] **Fig. 2** zeigt ein detailliertes Blockschaltbild zur Veranschaulichung der Einrichtung 7 zur Zylinderklassifikation. Die Einrichtung 7 enthält in einem ersten Segment ein Mittel zur Referenzphasengenerierung 71, dem Mittel zur Referenzphasenkalibrierung 72 und Referenzphasenselektion 73 nachgeordnet sind. In einem zweiten Segment ist eine Einrichtung 74 vorgesehen, bei der beispielsweise Bewertungskriterien bestimmt oder errechnet werden, auf die später zugegriffen werden kann. Ausgehend davon werden in einer nachgeschalteten Einheit 75 die Hauptverursacher und/oder die Nebenverursacher einer Störung oder einer Abweichung bestimmt. Zusätzlich oder alternativ kann auch bereits jetzt eine mögliche Verstellung zur Ausregelung der Störung bzw. der Abweichung abgeleitet werden. In der nachgeschalteten Einheit 76 werden die qualitativen und gegebenenfalls auch die quantitativen Verstellmaße bestimmt.

[0023] Die Funktionsweise der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend anhand der **Fig. 1** und 2 näher erläutert:

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert vornehmlich auf der Auswertung der Motordrehzahl. Hierzu wird beispielsweise ein Geberrad mit vorzugsweise äquidistanten Winkel-Markierungen an der Kurbelwelle angebracht. Die Zeiten zwischen den einzelnen Markierungen des rotierenden Geberrades werden von einem Sensor, beispielsweise einem induktiven oder einem optischen Sensor, erfasst. Das so erfasste Signal wird anschließend in einer programmgesteuerten Einheit, beispielsweise einem Mikrocontroller, Mikroprozessor oder dergleichen, in Drehzahlen umgerechnet. Diese programmgesteuerte Einheit kann Bestandteil der erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung 2 sein oder auch in der Motorsteuerung enthalten sein. Umgekehrt kann auch die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung 2 Bestandteil der Motorsteuerung sein.

[0024] Es liegen somit in äquidistanten Winkelabständen Abtastwerte der Kurbelwellendrehzahl vor. Die Anzahl der Winkel-Markierungen sind dabei derart groß zu wählen, dass das Abtasttheorem eingehalten werden kann.

[0025] Bei Vorliegen eines quasistationären Betriebszustandes erfolgt ausgehend von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Drehzahlsegmenten der Länge 720° der Kurbelwelle die Bildung des arithme-

tischen Mittelwertes. Die Drehzahlsegmente der Länge 720° der Kurbelwelle werden auch als Arbeitsspiel bezeichnet. Die Bildung des arithmetischen Mittelwertes dient dazu, zyklische Schwankungen, die bei einer ungleichmäßigen Verbrennung entstehen, zu eliminieren. Die arithmetische Mittelung könnte zusätzlich oder alternativ auch im Winkel-Frequenzbereich durchgeführt werden. Hierzu muss die genannte Frequenztransformation auf jedes einzelne auswertbare Arbeitsspiel angewandt werden. In einer Weiterbildung könnte auf die Einrichtung 4 zur arithmetischen Mittelung auch verzichtet werden, wenn gleich die Erfindung mit einer Einrichtung zur arithmetischen Mittelung eine bessere Funktionalität aufweist. Die Einrichtung 4 zur arithmetischen Mittelung könnte auch an einer anderen Stelle in der Regelungseinrichtung 2 angeordnet sein.

[0026] Im nachfolgenden Verfahrensschritt wird das Bemittelte Drehzahlsignal (Periodendauer 720° der Kurbelwelle) einer Spektralanalyse unterzogen. Für die Transformation wird erfindungsgemäß eine Diskreten Hartley-Transformation (DHT) vorgenommen. Die genannte DHT-Transformation, die aus der Bildverarbeitung stammt, bietet im Gegensatz zu der üblicherweise verwendeten und in der digitalen Signalverarbeitung und der Nachrichtentechnik weit verbreiteten Fourier-Transformation den besonderen Vorteil, durch ausschließlich reelle Operationen berechnet werden zu können. Das Drehzahlsignal wird dabei in einzelne Winkel-Frequenzen, auch Ordnungen genannt, separiert, welche der Beurteilung der Laufunruhe dienen. Die Schwingungen weisen dabei eine Frequenz auf, die kleiner als die doppelte Motordrehzahl ist. Da die Verstellung einzelner Zylinder vor allem die Amplituden der niederfrequenten Schwingungen beeinflusst, stellen bei einem 4-Zylinder-Motor die Amplituden der 0,5-ten und der 1-ten Ordnung Istwerte für die Laufunruhe dar. Die genannten Ordnungen, im folgenden relevante Ordnungen genannt, können von der Einspritzung beeinflusst werden und bezeichnen Schwingungen mit jeweils der Frequenz der halben und der einfachen Motordrehzahl. Diese werden durch das erfindungsgemäß Verfahren deutlich reduziert. Der Wert Null stellt hierbei den Sollwert für die Amplituden der 0,5-ten und der 1-ten Ordnung dar. Aus der auf das Drehzahlsignal angewandten Spektraltransformation können komplexe Zahlenwerte abgeleitet werden, welche in Betrag (bzw. Amplitude) und Phase für die jeweiligen Ordnungen umgerechnet werden.

[0027] An dieser Stelle sei erwähnt, dass im Falle eines 6-Zylinder-Motors zusätzlich die 1,5-te Ordnung, im Falle eines 8-Zylinder-Motors zusätzlich die 1,5-te und die 2-te Ordnung zu berücksichtigen wären.

[0028] Da die berechneten komplexen Zahlenwerte bzw. Amplituden- und Phasenwerte aufgrund des Auftretens von typischerweise vorkommender parasitärer Effekte (Geberradfehler, Massenmomente, etc.) im Allgemeinen verfälscht werden, werden die-

se mit Hilfe einer vorteilhafterweise vorgesehenen, sogenannten Schleppkorrektur eliminiert. Hierzu werden im stationären Schleppbetrieb, das heißt im Betriebszustand ohne Einspritzung, Messungen beispielsweise der momentanen Kurbelwellendrehzahl durchgeführt. Die anschließende Anwendung der Hartley-Transformation liefert drehzahlabhängige Korrekturwerte für die Schwingungen der 0,5-ten und 1-ten Ordnung. Diese Korrekturwerte werden im Steuergerät abgespeichert.

[0029] Auf diese Einrichtung 6 zur Korrektur der Frequenzanteile kann auch verzichtet werden, wenn gleich die erfindungsgemäß Regelungseinrichtung 2 mit dieser Einrichtung eine bessere Funktionalität aufweist. Darüber hinaus könnte diese Korrekturseinrichtung 6 auch eine andere Korrektur als die Schleppkorrektur vornehmen.

[0030] Die Ermittlung der verstellten Zylinder erfolgt anhand von drehzahl- und lastabhängigen Referenzphasen, welche für die relevanten Ordnungen im Steuergerät abgelegt werden. Im Anschluss an die Bestimmung der Referenzphasen, welche am Motorprüfstand oder im Fahrbetrieb erfolgen kann, werden diese ebenfalls einer Schleppkorrektur unterzogen. Zudem lässt sich aus der Kombination der relevanten Ordnungen der Referenzphasen ein Kalibrierungsfaktor ableiten.

[0031] Die korrigierten Motorordnungen stellen die Basis für die nächsten Verfahrensschritte dar. Überschreiten die Amplituden der Schwingungen der 0,5-ten und 1-ten Ordnung einen vorgegebenen Schwellwert und liegt ein quasistationärer Betriebszustand vor, wird die Regelung aktiviert.

[0032] Den gemessenen Phasen der 0,5-ten und 1-ten Ordnung werden Referenzphasen zugeordnet. Die Referenzphase der 0,5-ten Ordnung, welche der Messphase am nächsten liegt, wird als Primärphase bezeichnet, der zugehörige Zylinder als Primärzylinder. Die Referenzphase der 0,5-ten Ordnung, welche der Messphase am zweitnächsten liegt, wird als Sekundärphase und der zugehörige Zylinder als Sekundärzylinder bezeichnet.

[0033] Mittels der den Messphasen zugeordneten Referenzphasen und der gemessenen Amplituden und Phasen werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Last- und Drehzahlsituation Bewertungskriterien erstellt, anhand derer die zu verstellenden Zylinder und deren erforderliche Verstellrichtung bestimmt werden. Im vorliegenden Fall werden vier Bewertungskriterien ermittelt, die nachfolgend als PK1-Wert, PK2-Wert, PK3-Wert, AK-Wert bezeichnet werden.

[0034] Mittels der Primärphase, der Referenzphase der 1-ten Ordnung und einem Kalibrierungsfaktor wird ein sogenannter PK1-Wert berechnet, welcher mit einer vorgegebenen Schwelle verglichen wird. Ebenso wird aus der Primärphase, der Sekundärphase, der Messamplitude und der Messphase der 0,5-ten Ordnung ein sogenannter PK2-Wert berechnet, welcher mit einer weiteren vorgegebenen

Schwelle verglichen wird. In Abhängigkeit von einem Überschreiten der genannten Schwellen werden den PK1- und PK2-Werten die logischen Werte „HIGH“ und „LOW“ zugeordnet. Wahlweise kann PK2 auch aus der Messphase und der Primärphase bestimmt werden, d. h. aus dem Abstand beider Phasen.

[0035] Als weiteres Kriterium wird der sogenannte AK-Wert benötigt. Zur Bestimmung des AK-Wertes wird das last- und drehzahlabhängige Verhältnis der Messamplituden der 0,5-ten und der 1-ten Ordnung mit einer Schwelle verglichen. Der Vergleich mit einem weiteren Schwellwert liefert den logischen Wert „HIGH“ bzw. „LOW“ für den AK-Wert. Zusätzlich oder alternativ kann auch ein sogenannter PK3-Wert, welcher mittels der Primärphase, einer dazu komplementären Primärphase (= Phase des zum Primärzylinders nicht benachbarten Zylinders), der Messamplitude und der Messphase bestimmt wird, mit einer weiteren Schwelle verglichen werden, woraus für den PK3-Wert der logische Wert „HIGH“ oder „LOW“ resultiert.

[0036] In einem weiteren Verfahrensschritt werden der jeweils zu verstellende Zylinder und gegebenenfalls auch die jeweils erforderliche Verstellungsrichtung ermittelt.

[0037] Der PK1-Wert wird zur Bestimmung des maßgeblich verstellten Zylinders, zum Beispiel der Hauptverursacher der Verstellung, und dessen Verstellungsrichtung herangezogen. Ist beispielsweise PK1 = „HIGH“, so ist der Hauptverursacher der Verstellung der zur Primärphase zugehörige Zylinder. Zudem ist der identifizierte Zylinder zu fett, d. h. dem Zylinder wird eine zu großen Menge an Kraftstoff zugeführt. In diesem Falle sollte die Einspritzmenge dieses Zylinders reduziert werden.

[0038] Die Werte PK1 und PK2 verknüpft mit dem AK-Wert – wahlweise auch dem PK3-Wert – lassen den Zylinder mit dem zweitgrößten Anteil an der Verstellung (= Nebenverursacher) sowie dessen Verstellrichtung erkennen.

[0039] Der Verstellungsbeitrag des Nebenverursachers wird typischerweise relativ zum Hauptverursacher bestimmt.

[0040] Der relative Beitrag des Nebenverursachers lässt sich in analytischer Weise ermitteln. Alternativ kann der Nebenverursacher ausgeblendet werden. In diesem Falle wird typischerweise lediglich ein einzelner Zylinder, nämlich der Hauptverursacher, versteht.

[0041] Die gemessenen relevanten Ordnungen werden vorteilhafterweise durch die Erzeugung der entsprechenden Gegenschwingungen kompensiert oder zumindest weitestgehend verringert. Hierzu werden die ermittelten qualitativen Verstellungen des Hauptverursachers und des oder der Nebenverursacher auf alle Zylinder so aufgeteilt, dass die Summe der Verstellungen über alle 4 Zylinder gleich oder nahezu gleich Null ist. Dadurch wird das ursprüngliche Motormoment bzw. die ursprüngliche Motorleistung nicht verändert.

[0042] Die Amplituden der relevanten Ordnungen stellen die Regelabweichung dar und werden einer drehzahl- und lastabhängigen Gewichtung unterzogen. Schließlich werden mit Hilfe der ermittelten qualitativen Verstellungen und der Ist-Amplituden der relevanten Ordnungen Zylinder individuelle, quantitative Korrekturfaktoren ermittelt. Diese werden einem Regler 8 zugeführt, welcher im Falle, dass keine Reglerbegrenzung vorliegt, Einfluss auf die jeweiligen erforderlichen Zylinder individuellen Einspritzmengen nimmt. Der Regler 8 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel als einfacher I-Regler ausgebildet. Jedoch könnte hier selbstverständlich auch jede beliebige Regeleinrichtung verwendet werden, die in Abhängigkeit von den ermittelten Korrekturwerten ausgangsseitig ein Regelsignal bereit stellt.

[0043] Neben der eben beschriebenen Funktionalität weist die erfindungsgemäße Regelungseinrichtung vorteilhafterweise auch zusätzliche Funktionalitäten auf. Diese nachfolgend beschriebenen Funktionalitäten der erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung können zusätzlich oder alternativ zu der oben beschriebenen Regelung der Laufunruhe bei einer Brennkraftmaschine (ESC-Regelung) implementiert sein.

Aussetzerkennung (Misfire Detection)

[0044] Aufgrund des bei einer Brennkraftmaschine unvermeidlichen Auftretens von Zündaussetzern kann unerwünschterweise unverbrannter Kraftstoff in die Umwelt gelangen. Zudem kann dadurch auch eine dauerhafte Schädigung von bei modernen Kraftfahrzeugen vorhandenen Abgasnachbehandlungssystemen, beispielsweise des Katalysators, auftreten. Beides hat zur Folge, dass die Abgasbelastung der Umwelt erhöht wird. Um dies weitestgehend zu vermeiden existieren nationale und internationale Vorschriften und Gesetze (z. B. OBD II, E-OBD), die unter anderem eine Einrichtung zur Erkennung von Zündaussetzern bei Kraftfahrzeugen vorschreiben.

[0045] Das Auftreten von Zündaussetzern führt zu Drehmomentänderungen, welche sich beispielsweise in der momentanen Kurbelwellendrehzahl bzw. in der momentanen Kurbelwellenbeschleunigung widerspiegeln. Mittels des nachfolgend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, ausgehend von einem Drehzahlsignal Zündaussetzer zu detektieren. Ferner ist es möglich zu erkennen, bei welchen Zylindern Zündaussetzer aufgetreten sind. Hierzu wird in entsprechender Weise wie bei der Motorgleichlaufregelung das Drehzahlsignal in den Winkel-Frequenzbereich transformiert. Da die Verstellung einzelner Zylinder sich vor allem auf die niedrfrequenten Spektralanteile auswirken, werden vor allem diese zur Detektion von Zündaussetzern herangezogen.

[0046] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert wiederum auf der Auswertung der Motordrehzahl. Hierzu wird beispielsweise ein Geberrad mit vorzugs-

weise äquidistanten Winkel-Markierungen an der Kurbelwelle angebracht. Die Zeiten zwischen den einzelnen Markierungen des rotierenden Geberrades werden von einem Sensor detektiert und anschließend im Mikrocontroller in Drehzahlen umgerechnet. [0047] Dadurch werden in äquidistanten Winkelabständen Abtastwerte der Kurbelwellendrehzahl ermittelt. Dabei ist sicherzustellen, dass die Anzahl der Winkel-Markierungen ausreichend groß ist, so dass das Abtasttheorem in jedem Fall eingehalten wird. [0048] Bei Vorliegen eines quasistationären Betriebszustandes wird ein 720° langer Ausschnitt des Drehzahlsignals, welcher auch als Arbeitsspiel bezeichnet wird, mittels einer Diskreten Hartley-Transformation (DHT) einer Spektralanalyse unterzogen. Das Drehzahlsignal wird dabei in einzelne Winkel-Frequenzen separiert, welche zur Detektion von Zündaussetzern dienen. Da die Verstellung einzelner Zylinder vor allem die Amplituden der Schwingungen beeinflusst, die eine Frequenz aufweisen, die kleiner als die doppelte Motordrehzahl ist, stellen bei einem 4-Zylinder-Motor die Amplituden der 0,5-ten und 1-ten Ordnung Größen dar, aus welchen auf das Vorliegen von Zündaussetzern geschlossen werden kann. Die genannten Ordnungen, im folgenden relevante Ordnungen genannt, bezeichnen Schwingungen mit jeweils der Frequenz der halben und der einfachen Motordrehzahl. Hierbei ist zu erwähnen, dass im Falle eines 6-Zylinder-Motors zusätzlich die 1,5-te Ordnung, im Falle eines 8-Zylinder-Motors zusätzlich die 1,5-te und die 2-te Ordnung berücksichtigt werden kann. Die auf das Drehzahlsignal angewandte Spektraltransformation liefert im allgemeinen komplexe Zahlenwerte, die in Betrag bzw. Amplitude und Phase für die jeweiligen Ordnungen umgerechnet werden.

[0049] Da die berechneten komplexen Zahlenwerte bzw. Amplituden- und Phasenwerte aufgrund des Auftretens von immer vorhandenen parasitären Effekten – zum Beispiel ein Geberradfehler, ein Fehler des Massenmoments, etc. – im Allgemeinen verfälscht werden, werden diese mit Hilfe einer sogenannten Schleppkorrektur eliminiert. Hierzu werden im stationären Schleppbetrieb (= Betriebszustand ohne Einspritzung) Messungen beispielsweise der momentanen Kurbelwellendrehzahl durchgeführt. Die anschließende Anwendung der Hartley-Transformation liefert vorteilhafterweise drehzahlabhängige Korrekturwerte für die Schwingungen der 0,5-ten und 1-ten Ordnung. Diese Korrekturwerte werden dann im Steuergerät abgespeichert.

[0050] Das Auftreten von einem oder mehreren gleichzeitig auftretenden Zündaussetzern bewirkt, dass die Amplituden der relevanten Ordnungen stark ansteigen. Durch Auswertung der Amplituden kann das Auftreten eines Zündaussetzers angezeigt werden. Der Vergleich der Amplituden mit einer vorgegebenen Schwellen erfolgt in einem sogenannten Amplitudendiskriminator. Dieser liefert für jedes Arbeitsspiel eine Aussage über das Vorliegen von Zündausset-

zern.

[0051] Liegen beispielsweise die Amplituden der 0,5-ten und 1-ten Ordnungen unter der genannten Schwellen, so liegt kein Aussetzer vor. Liegen beide darüber, so wird erkannt, dass entweder ein Zylinder oder drei Zylinder einen Zündaussetzer aufweisen. Zwei Aussetzer von benachbarten Zylindern werden erkannt, wenn nur die Amplitude der 0,5-ten Ordnung über der Schwellen liegt. Zwei Aussetzer von komplementären, das heißt in der Zündfolge nicht benachbarten Zylindern liegen vor, wenn nur die Amplitude der 1-ten Ordnung die Schwellen überschreitet.

[0052] Die Ermittlung der Zylinder, welche einen Zündaussetzer aufweisen, erfolgt im Block Zylinderdetektion anhand von drehzahl- und lastabhängigen Referenzphasen, welche für die relevanten Ordnungen im Steuergerät abgelegt werden. Im Anschluss an die Bestimmung der Referenzphasen, welche am Motorprüfstand oder im Fahrbetrieb erfolgen kann, werden diese ebenfalls einer Schleppkorrektur unterzogen. Zudem lässt sich aus der Kombination der relevanten Ordnungen der Referenzphasen ein Kalibrierungsfaktor ableiten. Den gemessenen Phasen der 0,5-ten und 1-ten Ordnung werden Referenzphasen zugeordnet. Die Referenzphase der 0,5-ten Ordnung bzw. der jeweils zugehörige Zylinder, der der Messphase der 0,5-ten Ordnung am nächsten liegt, liefert dann den sogenannten Primärzylinder.

[0053] Mittels der Referenzphasen und des Kalibrierungsfaktors wird ein Referenzphasenkriterium ermittelt. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Schwellwertüberschreitungen im Amplitudendiskriminator und der Kenntnis des Primärzylinders erfolgt die Identifikation der aussetzenden Zylinder.

Momentennachführung – Leistungsnachführung

[0054] Aufgrund des unvermeidlichen Auftretens von Alterungseffekten des Motors und vor allem dessen Einspritzsystems nimmt das von der Brennkraftmaschine abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung mit der Zeit ab. Dieser Effekt wird insbesondere bei Nutzfahrzeugen als Mangel empfunden, da hier sehr viel höhere Motorlaufzeiten gefordert werden als bei Personenkraftfahrzeugen. Ein Austausch des Motors ist hier zum einen teuer, zum anderen fällt das Nutzfahrzeug auch für eine längere Zeit aus. Insbesondere durch das Auftreten von Fertigungstoleranzen wird eine mehr oder weniger starke Variation im Motormoment und damit einhergehend ein Abfallen der Motorleistung bedingt, welches häufig nur durch einen zeitaufwendigen Bandendeabgleich kompensiert werden kann.

[0055] Durch das Anbringen von Drehmomentsensoren oder Zylinderdrucksensoren in den Zylindern kann das Motormoment bzw. die Motorleistung zwar bestimmt werden, jedoch erfordert dies zusätzlichen konstruktiven Aufwand. Variationen im abgegebenen Motormoment bzw. in der abgegebenen Motorleistung spiegeln sich beispielsweise auch in der mo-

mentanen Kurbelwellendrehzahl bzw. in der momentanen Kurbelwellenbeschleunigung wieder. Diese können im Motorsteuergerät unter Ausnutzung eines bereits vorhandenen Sensors ausgewertet werden.

[0056] Mittels des im Folgenden beschriebenen erfundungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, das abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung ausgehend vom Drehzahlsignal zu detektieren sowie diese durch eine geeignete Verstellung der Einspritzmengen zu beeinflussen bzw. auszuregeln.

[0057] Da die Verbrennungsenergie im wesentlichen in ausgezeichneten Frequenzanteilen des Drehzahlsignals enthalten ist, wird das Drehzahlsignal in den Winkel-Frequenzbereich transformiert. Die resultierenden Spektralanteile werden auch als Ordnungen bezeichnet. Durch Auswertung der Amplitude der Schwingung der 2-ten Ordnung kann bei einem 4-Zylinder-Motor auf das abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung geschlossen werden. Alternativ kann dazu auch die 4-te, 6-te, 8-te, etc. Ordnung herangezogen werden. Entsprechend werden beispielsweise bei einem 6-Zylinder-Motor die Amplitude der Schwingung der 3-ten Ordnung und beim 8-Zylinder die Amplitude der Schwingung der 4-ten Ordnung bzw. die geradzahligen Vielfachen der genannten Ordnungen ausgewertet.

[0058] Die genannten Spektralanteile stellen nach geeigneter Kalibrierung Ist-Größen für das abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung dar und können mit dem vom Motorsteuergerät angeforderten Motormoment bzw. der jeweiligen Motorleistung verglichen werden. Der Brennkraftmaschine ist ein Regler zugeordnet, der durch Variation der Einspritzmenge den Unterschied zwischen Ist-Motormoment und Soll-Motormoment bzw. zwischen Ist-Motorleistung und Soll-Motorleistung minimiert.

[0059] Das erfundungsgemäße Verfahren basiert wie die oben beschriebenen Verfahren auf der Auswertung der Motordrehzahl. Dabei ist wiederum ein an der Kurbelwelle angebrachtes Geberrad mit vorzugsweise äquidistanten Winkel-Markierungen bereit gestellt. Die Zeiten, die bei einem drehenden Geberrad zwischen den einzelnen Markierungen des rotierenden Geberrades auftreten, werden von einem Sensor detektiert und von einem Mikrocontroller in diesen Zeiten zugeordnete Drehzahlen umgerechnet. Es liegen damit in äquidistanten Winkelabständen Abtastwerte der Kurbelwellendrehzahl vor. Auch hier ist sicherzustellen, dass das Abtasttheorem stets eingehalten wird.

[0060] Bei Vorliegen eines quasistationären Betriebszustandes erfolgt die Bildung des arithmetischen Mittelwertes ausgehend von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Drehzahlsegmenten der Länge 720° der Kurbelwelle. Dies dient dazu, um zyklische Schwankungen, die aus einer ungleichmäßigen Verbrennung herrühren, zu eliminieren.

[0061] Im folgenden Verfahrensschritt wird das Bemittelte Drehzahlsignal (Periodendauer 720° Kurbelwelle) mittels einer Diskreten Hartley-Transformation (DHT) einer Spektralanalyse unterzogen. Das Drehzahlsignal wird dabei in einzelne Winkel-Frequenzen separiert, wobei die Momenteninformation bei dem erfundungsgemäßen Verfahren aus der Amplitude der Schwingung der 2-ten Ordnung (= Schwingungen mit der Frequenz der Motordrehzahl) generiert wird. Die auf das Drehzahlsignal angewendete Spektraltransformation liefert im Allgemeinen komplexe Zahlenwerte, die in Betrag bzw. Amplitude und Phase umgerechnet werden.

[0062] Da die berechneten komplexen Zahlenwerte bzw. Amplituden- und Phasenwerte aufgrund des Auftretens von typischerweise vorhandenen parasitären Effekten (z. B. Geberradfehler, Massenmomente, etc.) im Allgemeinen verfälscht werden, werden diese mittels einer Korrekturseinrichtung (z. B. Schleppkorrektur) eliminiert. Hierzu werden im statioären Schleppbetrieb (= Betriebszustand ohne Einspritzung) Messungen beispielsweise der momentanen Kurbelwellendrehzahl durchgeführt. Die anschließende Anwendung der Hartley-Transformation liefert drehzahlabhängige Korrekturwerte für die Schwingung der 2-ten Ordnung. Diese Korrekturwerte werden im Steuergerät abgespeichert.

[0063] Da die Amplitude der 2-ten Ordnung, die ein Maß für das abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung ist, bei fester Drehzahl streng monoton mit der Last ansteigt, kann diese bei einem Referenzmotor erfasst und drehzahlabhängig in einem Kennlinienfeld abgelegt werden. Dieses Kennlinienfeld dient dann als Bezug zur Ermittlung des Ist-Motormomentes bzw. der Ist-Motorleistung.

[0064] Zusätzlich oder alternativ kann eine Berechnung des Ist-Motormomentes bzw. der Ist-Motorleistung auch auf analytische Weise durchgeführt werden.

[0065] Durch ein nachfolgendes Regelungssystem wird der Unterschied zwischen dem vom Motorsteuergerät angeforderten Soll-Motormoment und dem tatsächlichen vorliegenden Ist-Motormoment detektiert und dieser durch Variation der Einspritzmenge minimiert. Vor Abarbeitung des vorgestellten Verfahrens kann gegebenenfalls auch eine Gleichstellung der Drehzahlhübe mittels einer sogenannten Motorgleichlaufregelung (ESC: Engine Smoothness Control) erfolgen.

[0066] Die vorstehenden Ausführungsbeispiele wurden anhand einer Brennkraftmaschine mit vier Zylinder dargestellt. Die Erfindung sei jedoch nicht ausschließlich auf solche Brennkraftmaschinen beschränkt, sondern lässt sich selbstverständlich bei geeigneter, für den Fachmann naheliegender Anpassungen auch auf Brennkraftmaschinen mit mehr oder weniger als vier Zylinder erweitern.

[0067] Die vorstehenden Ausführungsbeispiele wurden die Erfindung anhand einer Hartley-Transformation beschrieben. Die Erfindung kann jedoch sehr

vorteilhaft bei geeigneter Abwandlung auch unter Zuhilfenahme einer anderen Transformation, beispielsweise einer Fast Fourier Transformation (FFT), einer Diskreten Fourier Transformation (DFT) oder dergleichen sehr vorteilhaft angewendet werden, wenn gleich die Erfindung im Falle einer Hartley-Transformation am vorteilhaftesten und damit am geeignetesten ist.

[0068] In den vorstehenden Ausführungsbeispielen wurde jeweils eine arithmetische Mittelwertbildung vorgenommen. Die Erfindung sei jedoch nicht ausschließlich darauf beschränkt, sondern lässt sich sehr vorteilhaft auch bei einer geometrischen Mittelwertbildung oder dergleichen einsetzen.

[0069] Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die wie beschriebene Regelungseinrichtung unter Zuhilfenahme der Hartley-Transformation in völliger Abkehr von bisher bekannten Lösungen auf sehr elegante Weise jedoch nichts desto trotz sehr einfache Weise eine Regelung der Betriebsweise der Brennkraftmaschine realisierbar ist.

[0070] Die vorliegende Erfindung wurde anhand der vorstehenden Beschreibung so dargestellt, um das Prinzip der Erfindung und dessen praktische Anwendung bestmöglichst zu erklären, jedoch lässt sich die Erfindung bei geeigneter Abwandlung selbstverständlich in mannigfaltigen anderen Ausführungsformen realisieren.

Bezugszeichenliste

- 1 Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug
- 2 Regelungseinrichtung.
- 3 Einrichtung zur Signalabtastung
- 4 Einrichtung zur arithmetischen Mittelwertbildung
- 5 Einrichtung zur Frequenzanalyse
- 6 Korrekturteinrichtung zur Korrektur der Frequenzenanteile
- 7 Einrichtung zur Zylinderklassifikation
- 71 Mittel zur Referenzphasengenerierung
- 72 Mittel zur Referenzphasenkalibrierung
- 73 Mittel zur Referenzphasenselektion
- 74 Einrichtung mit vorgegebenen Bewertungskriterien
- 75 Einheit zur Bestimmung von Hauptverursachern und/oder Nebenverursachern einer Störung oder einer Abweichung
- 76 Einheit zur Bestimmung der qualitativen und/oder quantitativen Verstellmaße
- 8 (I-)Regler

Patentansprüche

1. Regelungsverfahren zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine bei dem eine Regelungseinrichtung eine Einrichtung zur Signalabtastung, eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Frequenzanalyse sowie eine nachgeschaltet angeordnete Einrichtung zur Zylinderklassifikation aufweist, bei dem zunächst ein Drehzahlsignal ermittelt wird und anschließend das Drehzahlsignal in einen Winkel-Frequenzbereich transformiert wird, wobei die Transformation mittels einer Hartley-Transformation erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Motorgleichlaufregelung vorgenommen wird, bei der die Laufunruhe bei einer Brennkraftmaschine detektiert und geregelt wird.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorliegen eines quasistationären Betriebszustandes ausgehend von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Drehzahlsegmenten die Bildung eines Mittelwertes, insbesondere eines arithmetischen Mittelwertes, erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beurteilung der Laufunruhe das Drehzahlsignal in einzelne Winkel-Frequenzen (Ordnungen) separiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass parasitäre Effekte in den berechneten komplexen Zahlenwerten und/oder den Referenzphasen einer Schleppkorrektur unterzogen und so eliminiert werden.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der den Messphasen zugeordneten Referenzphasen und der gemessenen Amplituden und Phasen unter Berücksichtigung der jeweiligen Last- und Drehzahl-situation Bewertungskriterien erstellt werden, anhand derer die zu verstellenden Zylinder und deren erforderliche Verstellrichtung bestimmt werden.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Aussetzerkennung vorgenommen wird, bei der unerwünschte Zündaussetzern bei einer Brennkraftmaschine detektiert und ausgeregelt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Detektion der Zündaussetzer vor allem niederfrequente Spektralanteile verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektion

on der Zündaussetzer anhand von drehzahl- und lastabhängigen Referenzphasen erfolgt, die für die relevanten Ordnungen in einer Steuereinrichtung vorher abgelegt werden.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Referenzphasen und des Kalibrierungsfaktors ein Referenzphasenkriterium ermittelt wird und dass die Identifikation der aussetzenden Zylinder unter Berücksichtigung der jeweiligen Überschreitungen mindestens eines Schwellenwertes und der Kenntnis des jeweils ersten Zylinders erfolgt.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Momentennachführung bzw. Leistungsnachführung vorgenommen wird, bei ein alterungsbedingtes Nachlassen der Motorleistung der Brennkraftmaschine detektiert und ausgeregelt wird.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung des Motormomentes bzw. der Motorleistung durch Verstellung der Einspritzmenge ausgeregelt wird.

13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Amplitude, die ein Maß für das abgegebene Motormoment bzw. die abgegebene Motorleistung ist, bei einem Referenzmotor erfasst und drehzahlabhängig in einem Kennlinienfeld abgelegt wird.

14. Vorrichtung zur Regelung der Betriebsweise einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mittels eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche:

- mit einer Einrichtung zur Signalabtastung,
- mit einer der Einrichtung zur Signalabtastung nachgeschaltet angeordneten Einrichtung zur Frequenzanalyse, und
- mit einer der Einrichtung zur Frequenzanalyse nachgeschaltet angeordneten Einrichtung zur Zylinderklassifikation.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung zur arithmetischen Mittelwertbildung vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass Einrichtung zur arithmetischen Mittelwertbildung zwischen der Einrichtung zur Signalabtastung und der Einrichtung zur Frequenzanalyse angeordnet ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung zur Korrektur der Frequenzanteile vorgesehen ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Korrektur der Frequenzanteile zwischen der Einrichtung zur Frequenzanalyse und der Einrichtung zur Zylinderklassifikation angeordnet ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung zur Zylinderklassifikation zumindest eine der nachfolgenden Mittel aufweist:

- Mittel zur Referenzphasengenerierung;
- Mittel zur Referenzphasenkalibrierung;
- Mittel zur Referenzphasenselektion;
- Einrichtung zur Ermittlung von Bewertungskriterien;
- Einheit zur Bestimmung von Hauptverursachern und/oder Nebenverursachern einer Störung und/oder einer Abweichung;
- Einheit zur Bestimmung der qualitativen und/oder quantitativen Verstellmaße.

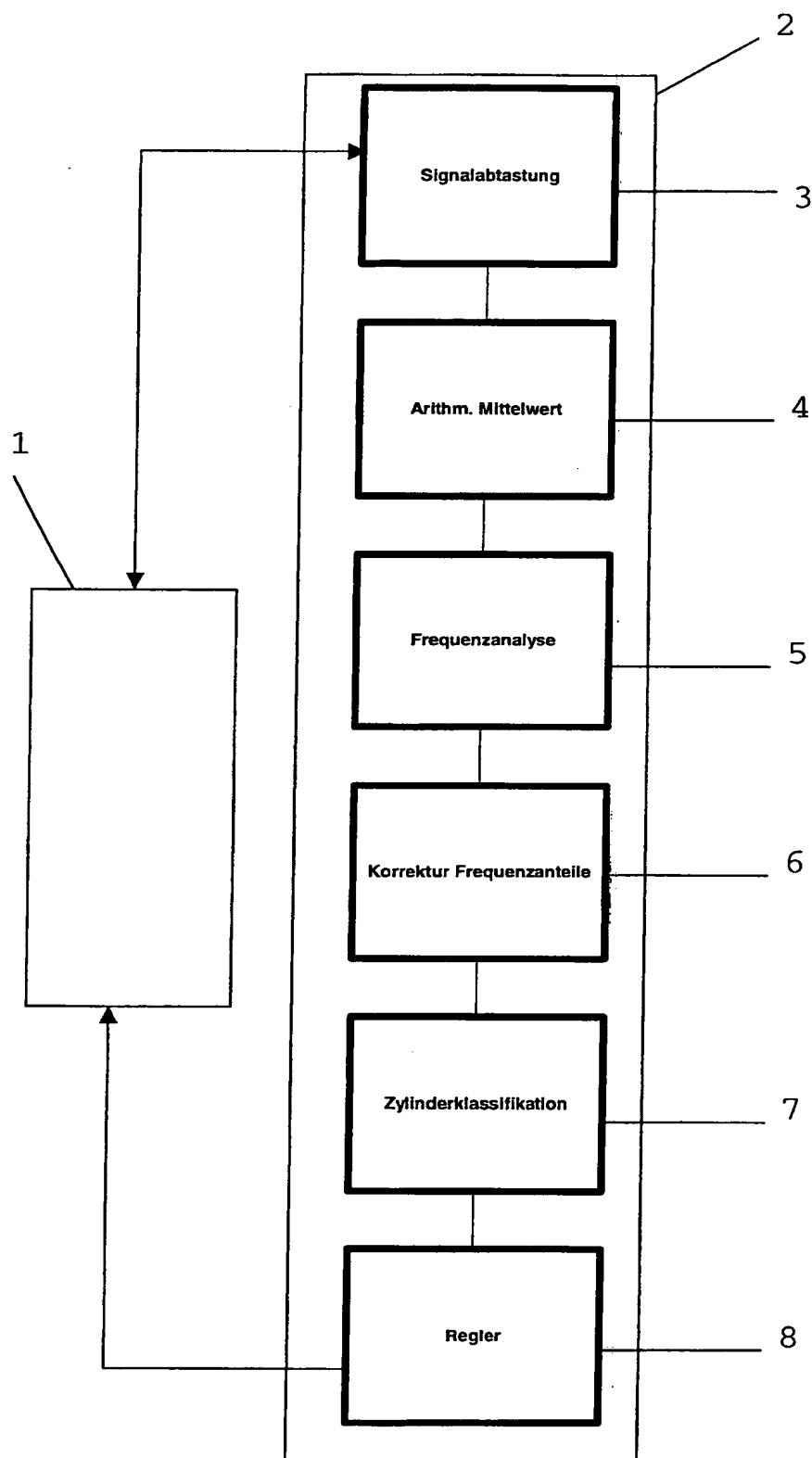
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Einrichtung zur Zylinderklassifikation ein Regler, insbesondere ein I-Regler oder ein PI-Regler, nachgeschaltet angeordnet ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung zur Aussetzererkennung (Misfire Detection) vorgesehen ist.

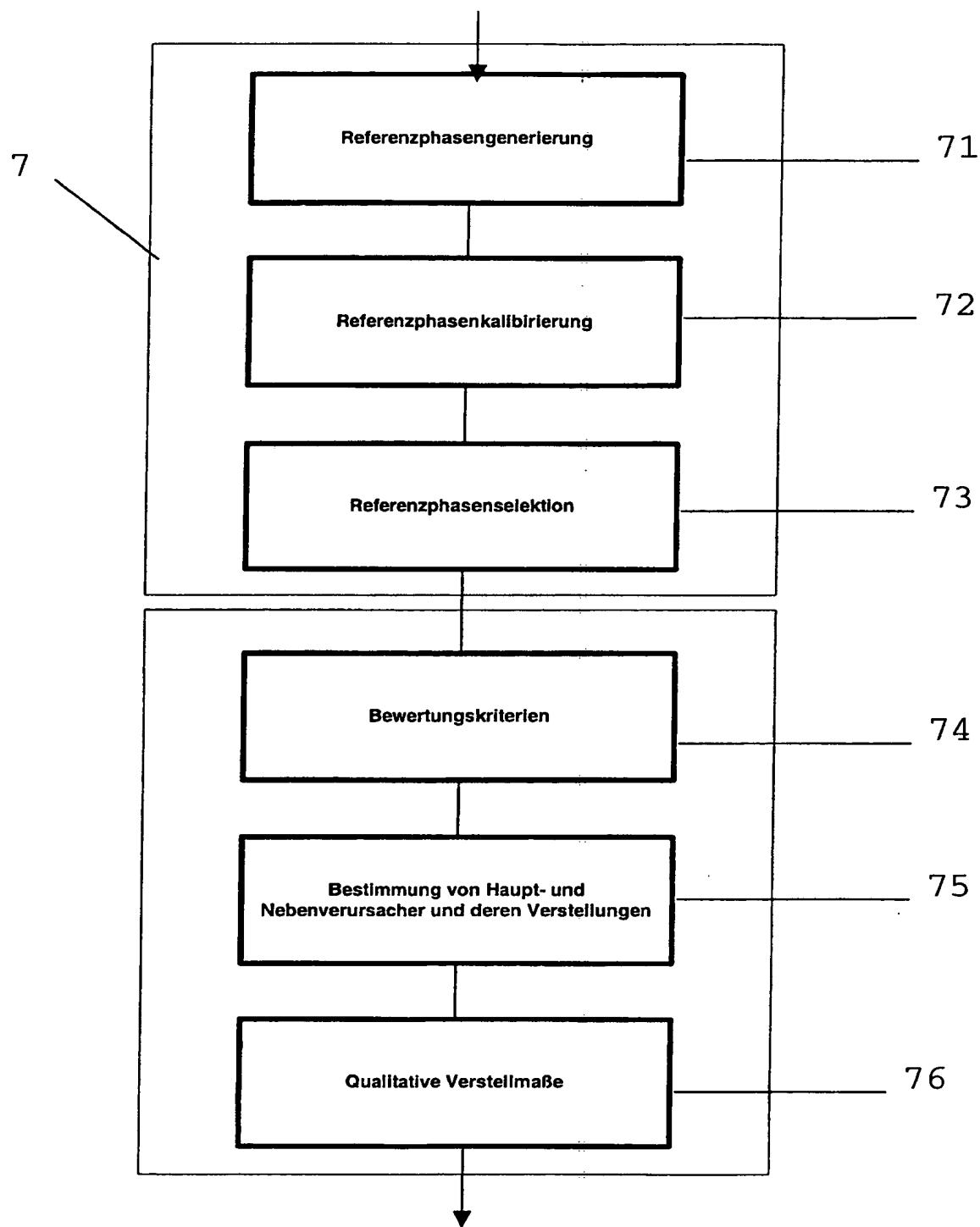
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorrichtung zur Momentennachführung bzw. zur Leistungsnachführung vorgesehen ist.

23. Brennkraftmaschine in einem Kraftfahrzeug mit mindestens einem Zylinder und mit mindestens einer Motorsteuerung, wobei zumindest eine Motorsteuerung eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 22 aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



Figur 1



Figur 2